

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมี 2 ข้อคือ

- (1) การศึกษาไอโซเทอร์มของเมทิลีนบลูในวัสดุดูดซับต่าง ๆ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา เป็นต้น เพื่อหารูปร่างของไอโซเทอร์มและคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะ
- (2) ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโลหะหนักบางตัว ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว และเงิน ซึ่งมีประจุบวก +3 -2 และ +1 ว่ามีพฤติกรรมการดูดซับแตกต่างกันอย่างไร

4.1. การศึกษาไอโซเทอร์มของเมทิลีนบลูในวัสดุดูดซับ

4.1.1. การหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

- (1) ผลของพีเอชต่อความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนคลื่นแสง

เมื่อนำสารละลายเมทิลีนบลูในตัวทำละลายน้ำ มีค่าพีเอช 6.44 ความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนคลื่นแสง (λ_{max}) มีค่า 662 นาโนเมตร และเมื่อทำการเปลี่ยนพีเอชอยู่ระหว่าง 4 - 10 พบว่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อแช่เมทิลีนบลูในวัสดุดูดซับต่าง ๆ สารละลายมีพีเอชค่อนข้างเป็นกลางคือ มีค่าพีเอช 5.88 - 7.15 และมีความยาวคลื่น 662 นาโนเมตรเท่าเดิม

- (2) ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหมาะสมกับน้ำหนักของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

ได้ทำการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูในวัสดุดูดซับน้ำหนักคงที่ (0.0500 กรัม) พบว่าความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่ใช้ จะต่างกันในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดได้แก่ 700 50 100 และ 500 ppm ในวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา ตามลำดับ เนื่องจากวัสดุดูดซับแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับได้ต่างกัน

- (3) ผลของเวลาต่อการดูดซับ

ได้ทำการศึกษาเวลาที่เมทิลีนบลูถูกดูดซับจนถึงสมดุลหรืออิ่มตัว ทำโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาของการดูดซับอยู่ในช่วง 0 - 1080 0 - 30 0 - 360 และ 0 - 540 นาที สำหรับวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา ตามลำดับพบว่าเวลาไม่มีผลต่อการดูดซับกล่าวคือเมื่อแช่เมทิลีนบลูในวัสดุ ก็จะได้ถึงสมดุลทันที ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่เหมาะสมและพอเหมาะคือ 240

5 120 และ 240 นาที สำหรับการดูดซับเมทธิลีนบลูของวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา ตามลำดับ

(4) ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ

เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษา โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 40°C พบว่าในวัสดุดูดซับทุกชนิดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ เพราะปริมาณการดูดซับคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 30°C เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

(5) ผลของตัวทำละลาย

เนื่องจากเมทธิลีนบลูเป็นสารที่มีขั้ว จะละลายในตัวทำละลายมีขั้วได้หลายชนิด ตัวทำละลายที่ศึกษาได้แก่ น้ำและเอธานอล สารละลายเมทธิลีนบลูเมื่อแช่ในวัสดุดูดซับต่าง ๆ พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.88 - 7.15 ในน้ำ และ 6.00 - 6.40 ในเอธานอลและความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนเท่าเดิมคือ 662 นาโนเมตรในน้ำ และ 654 นาโนเมตรในเอธานอลตามลำดับ แต่ปริมาณการดูดซับของเมทธิลีนบลูในวัสดุต่าง ๆ พบว่าปริมาณการดูดซับในตัวทำละลายน้ำมากกว่าในตัวทำละลายเอธานอล ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ เพื่อหาภาวะการทดลองที่เหมาะสมเพื่อสร้างไอโซเทอร์ม สรุปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงภาวะการทดลองที่เหมาะสม ในการสร้างไอโซเทอร์มของเมทธิลีนบลู ในวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ

วัสดุดูดซับ	c (ppm)	น้ำหนัก (g)	t (นาที)	T ($^{\circ}\text{C}$)	ตัวทำละลาย	พีเอช	λ_{max}
ถ่านกัมมันต์	500 - 2000	0.0500	240	30	น้ำ	7.15	662
ดินขาว	40 - 400	0.0500	5	30	น้ำ	6.88	662
ถ่านแกลบ	20 - 400	0.0500	120	30	น้ำ	7.09	662
ถ่านแกลบเผา	300 - 2000	0.0500	240	30	น้ำ	7.11	662

4.1.2 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ก) การดูดซับของเมทธิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ การดูดซับของเมทธิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ ให้ไอโซเทอร์มชนิดแอล (Langmuir isotherm) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ก ซึ่งแสดงการดูดซับของชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 อย่างชัดเจน การดูดซับในชั้นที่ 1 จะอิ่มตัวเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นประมาณ 1000 ppm และปริมาณของสีที่ดูดซับมีค่าประมาณ 0.36 กรัมของเมทธิลีนบลูต่อหนึ่งกรัมของถ่านกัมมันต์ การดูดซับในชั้นที่ 2 เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 1000 ppm และปริมาณของสีที่ดูดซับในชั้นที่ 2 จะมีค่าประมาณ 0.38 กรัมของเมทธิลีนบลูต่อหนึ่งกรัมของถ่านกัมมันต์ การดูดซับใน

ชั้นที่ 3 เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 1500 ppm และปริมาณของสีที่ดูดซับในชั้นที่ 2 จะมีค่าประมาณ 0.43 กรัมของเมทิลีนบลูต่อหนึ่งกรัมของถ่านกัมมันต์ ปริมาณสีที่ดูดซับจะน้อยลงในชั้นที่สอง และชั้นที่ 3 แสดงให้เห็นว่า โมเลกุลของเมทิลีนบลูเข้าไปดูดซับในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ขนาดของรูพรุนบังคับให้การดูดซับในชั้นที่ 1 เกิดขึ้นได้มากกว่าในชั้นที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลของการวิเคราะห์โดยเทคนิครีเฟลกแตนส์สเปกโทรสโกปีและอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการดูดซับ (รูปที่ 3.6 ก และ 3.7 ก) แสดงให้เห็นว่าไม่มีเมทิลีนบลูดูดซับที่ผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ และโมเลกุลของสีจะดูดซับภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์เท่านั้น

ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าการดูดซับของเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับแบบกายภาพ โดยแรงดึงดูดระหว่างถ่านกัมมันต์และเมทิลีนบลูจะมีค่าต่ำ และเมทิลีนบลูที่อยู่บนผิวชั้นนอกอาจหลุดออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ได้ ภายใต้การป้อนแรงและขบวนการอบแห้ง

เมื่อคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ $520.1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ผลการคำนวณนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของไกลส์และคณะ⁵ จึงได้ทำการทดลองหาพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์โดยการดูดซับของไนโตรเจน เบนซีนและสียหลายชนิด ไกลส์และคณะพบว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวภายในทั้งหมดเท่ากับ $1120 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ และมีพื้นที่ผิวจำเพาะเมื่อทำการดูดซับโดยใช้เมทิลีนบลูเท่ากับ $289 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ นั่นคือถ่านกัมมันต์จะประกอบด้วยรูพรุนที่มีขนาดแตกต่างกันหลายแบบ ทั้งรูพรุนขนาดเล็ก (micropores , $d \leq 2 \text{ nm}$) รูพรุนขนาดกลาง (mesopores , $2 \text{ nm} \leq d \leq 50 \text{ nm}$) และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores , $d \geq 50 \text{ nm}$) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะโดยการดูดซับสีเมทิลีนบลูจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดกลางที่มีขนาดใหญ่กว่า $100 \text{ \AA}^2$ เท่านั้น

ข) การดูดซับของเมทิลีนบลูบนดินขาว

การดูดซับของเมทิลีนบลูบนดินขาว ให้ไอโซเทอร์มชนิดแอลโดยมีจุดอิ่มตัวของการดูดซับแบบขั้นเดียวเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นประมาณ 300 ppm ปริมาณของสีที่ถูกดูดซับมีค่าค่อนข้างต่ำโดยประมาณเท่ากับ 0.05 กรัม ของเมทิลีนบลูต่อหนึ่งกรัมของดินขาว เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่า 300 ppm จะเกิดการดูดซับแบบหลายขั้นขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของดินขาวพบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ $57.8 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ซึ่งค่อนข้างต่ำ และแสดงให้เห็นว่าดินขาวมีความพรุนน้อยและมีความสามารถในการดูดซับต่ำผลการทดลองนี้สอดคล้องกับโครงสร้างของดินขาวซึ่งเป็นแผ่นบาง ๆ ประกอบด้วยชั้นของซิลิกาและชั้นของอลูมิเนียมออกไซด์ยึดติดกันด้วยพันธะไฮดรอกซิลซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงและโมเลกุลของสีไม่สามารถแทรกเข้าไปในระหว่างชั้นของออกไซด์ทั้งสองชนิดได้ แต่ละแผ่นบาง ๆ ของดินขาวจะซ้อนกันและดึงดูดกันด้วยแรงแรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ช่องว่างที่เกิดจากการซ้อนกันของชั้นดินนี้สามารถเกิดการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนได้หากไอออนที่มาดูดซับมีขนาดเล็กเพียงพอ ในกรณีของการดูดซับของสีเมทิลีนบลูนั้นโมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นดินได้ การ

ดูดซับจึงเกิดขึ้นที่ผิวชั้นนอกของดินขาวเท่านั้นความสามารถในการดูดซับของดินขาวจึงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับของถ่านกัมมันต์

ในระหว่างการดูดซับของสีเมทิลีนบลูบนดินขาว สารละลายได้เปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วงแสดงให้เห็นว่า มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างดินขาวและเมทิลีนบลู เมื่ออยู่ในน้ำเมทิลีนบลูจะแตกตัว ให้เกิดไอออนที่มีประจุบวก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลของดินขาวได้ ดังนั้นการดูดซับของเมทิลีนบลูบนผิวชั้นนอกของดินขาว อาจเป็นการดูดซับเคมี ข้อสมมติฐานนี้สามารถยืนยันได้ด้วยการศึกษาทางสเปกโทรสโกปี

การศึกษาด้วยเทคนิครีเฟลกแตนซ์สเปกโทรสโคปีพบว่าสเปกตรัมของดินขาวที่ดูดซับสีเมทิลีนบลูไว้จะแตกต่างจากสเปกตรัมของดินขาวบริสุทธิ์ และสเปกตรัมของสีเมทิลีนบลูด้วยเช่นกัน พิกที่ 297.8 nm และ 756.0 nm ของเมทิลีนบลูบริสุทธิ์ จะเลื่อนไปที่ 301.0 และ 763.0 nm เมื่อเกิดการดูดซับลงบนดินขาว นอกจากนั้นพิกที่ 366.0 nm และ 458.5 nm จะหายไปและปรากฏเป็นพิกใหม่ที่ 592.5 และ 655.5 nm แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและพันธะเคมีของเมทิลีนบลูเมื่อดูดซับลงบนดินขาว

การศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีได้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาด้วยเทคนิครีเฟลกแตนซ์สเปกโทรสโคปี กล่าวคือสเปกตรัมของเมทิลีนบลูที่ดูดซับลงบนดินขาวจะแตกต่างไปจากสเปกตรัมของเมทิลีนบลูและของดินขาวพิกที่เป็นลักษณะเฉพาะของเมทิลีนบลูจะหายไป นอกจากนั้นดินขาวที่ดูดซับเมทิลีนบลูจะมีสีฟ้าในขณะที่ดินขาวบริสุทธิ์จะมีสีขาว ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการดูดซับของเมทิลีนบลูบนดินขาวเป็นการดูดซับเคมี

ก) การดูดซับของเมทิลีนบลูบนถ่านแกลบและถ่านแกลบเผา

การดูดซับของเมทิลีนบลูบนถ่านแกลบและถ่านแกลบเผาให้ไอโซเทอร์มชนิดแอลเหมือนกัน โดยถ่านแกลบจุดอิ่มตัวของการดูดซับแบบชั้นเดียวเมื่อสารละลายมีความเข้มข้น 100 ppm และดูดซับสีได้เพียง 0.01 กรัมของสีต่อหนึ่งกรัมของถ่านแกลบถ่านแกลบเผาแสดงจุดอิ่มตัวที่ 1000 ppm และสามารถดูดซับสีได้ถึง 0.15 กรัมของสีต่อหนึ่งกรัมของถ่านแกลบเผาเมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะพบว่าถ่านแกลบและถ่านแกลบเผามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 28.9 และ 375.7 m^2/g ตามลำดับ

รีเฟลกแตนซ์สเปกตรัมและอินฟราเรดสเปกตรัม ของถ่านแกลบทั้งสองชนิดที่ดูดซับเมทิลีนบลูจนอิ่มตัวแล้วจะไม่แตกต่างจากสเปกตรัมของถ่านแกลบและถ่านแกลบเผาก่อนการดูดซับ แสดงว่าเมทิลีนบลูได้แทรกและดูดซับลงในรูพรุนของถ่านแกลบโดยไม่มีการดูดซับที่ผิวด้านนอก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการดูดซับของถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงเช่นเดียวกัน โครงสร้างของถ่านแกลบส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) ที่สานต่อกันเป็นร่างแหสามมิติโดยไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน (amorphous) ทำให้ถ่านแกลบเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านแกลบและถ่านแกลบเผาจะเห็นได้ว่าถ่านแกลบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างต่ำ เนื่องจากถ่านแกลบเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาถ่านของโรงสีข้าวซึ่งจะมีสารอินทรีย์เจือปน

และถูกดูดซับอยู่ในรูปของถ่านแกลบ เมื่อทำการเผากระตุ้นถ่านแกลบที่อุณหภูมิ 1000°C สารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่จะถูกเผาไหม้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และ ไอน้ำหลุดออกจากรูปของถ่านแกลบ ทำให้รูปของถ่านแกลบเผาใหญ่ขึ้นและมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านแกลบเผาและถ่านกัมมันต์จะเห็นได้ว่า ถ่านแกลบเผามีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ แต่ก็ยังจัดว่าเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูง โดยหนึ่งกรัมของถ่านแกลบเผาสามารถดูดซับเมทธิซีนบลูได้ 0.15 กรัม ในขณะที่หนึ่งกรัมของถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับเมทธิซีนบลูได้ 0.38 กรัม ถ่านแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติที่ไม่มีต้นทุนในการผลิต ดังนั้นหากได้รับการพัฒนาให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ถ่านแกลบน่าจะเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุดูดซับราคาถูกได้ดี



(ก)



(ข)

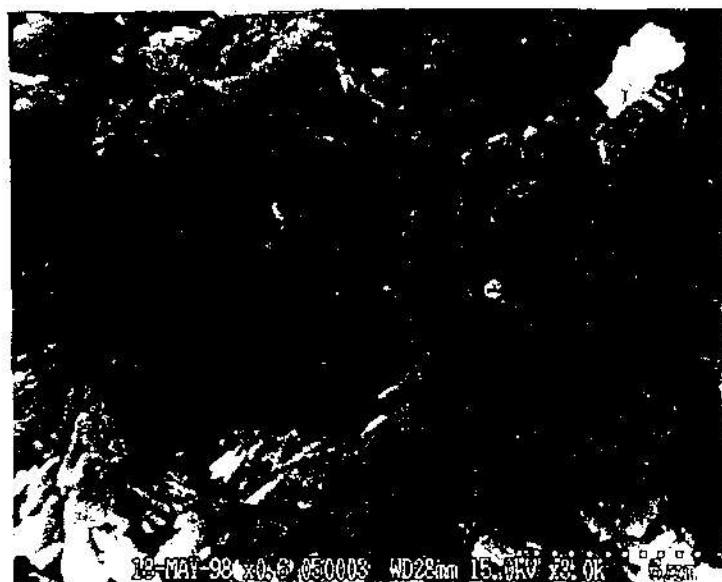
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ

(ก) ถ่านกัมมันต์

(ข) ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับเมทธิซีนบลู

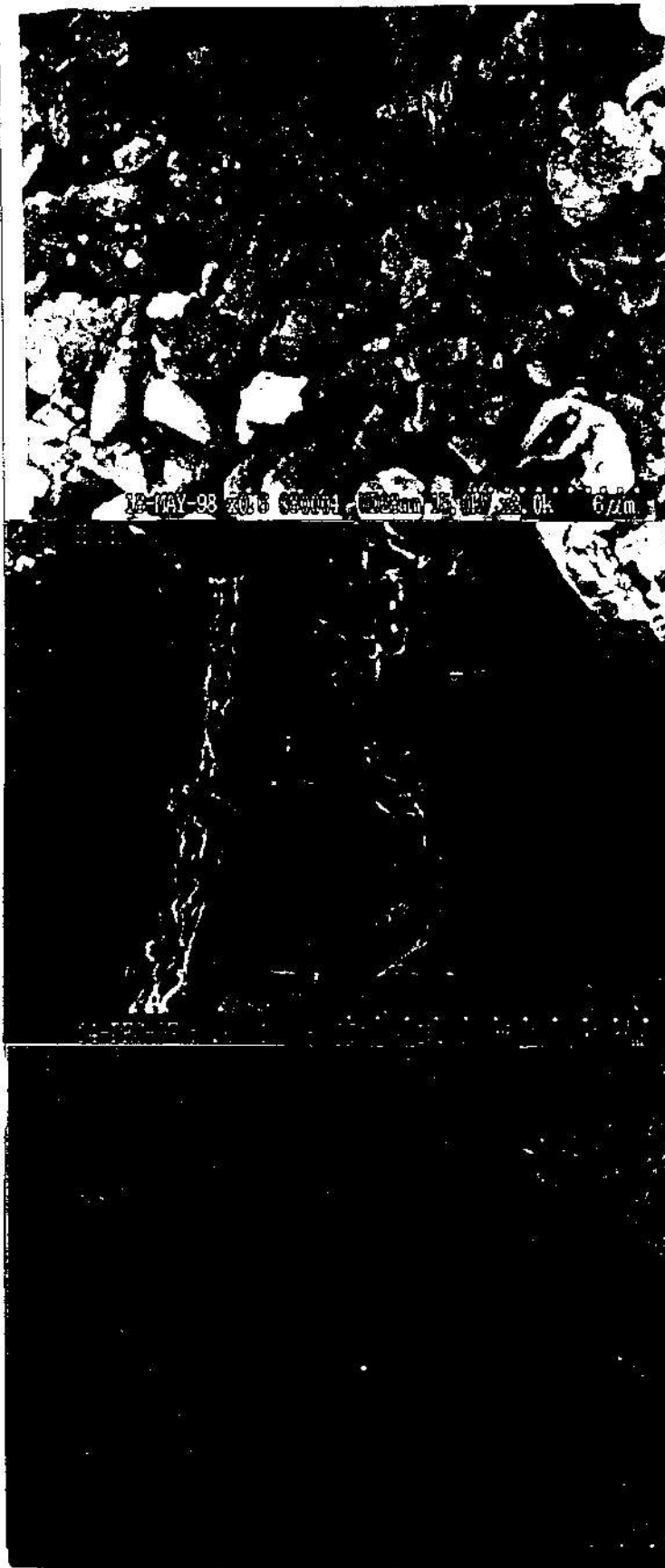
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 4.1 ก) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน โดยมีทั้งรูพรุนแบบเส้นทอกลวงและรูพรุนที่พื้นผิวภายนอก ทำให้มีพื้นที่ผิวสูงมาก ถ่านกัมมันต์จึงมีความสามารถในการดูดซับสูง กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไม่สามารถมองเห็นรูพรุนที่มีขนาดกลางและขนาดเล็ก และไม่สามารถมองเห็นการดูดซับในระดับโมเลกุลของเมทธิซีนบลู ภาพถ่ายแสดงให้เห็นรูพรุนขนาดใหญ่

ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 μm ภาพถ่ายของถ่านกัมมันต์ภายหลังการดูดซับเมทิลีนบลูแสดงให้เห็นว่ามีรูพรุนเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก แสดงว่าถึงแม้เมทิลีนบลูจะมีการดูดซับแบบหลายชั้นบนถ่านกัมมันต์แต่แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเมทิลีนบลูจะต่ำ และไม่สามารถดึงดูดซึ่งกันและกันเพื่อทำให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์เต็มได้ การดูดซับของเมทิลีนบลูจึงเป็นการดูดซับกายภาพ และสารเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับบนผิวด้านนอกสามารถหลุดออกได้ถ้าสารละลายของเมทิลีนบลูและถ่านกัมมันต์ถูกคนหรือปั่นเหวี่ยงในขั้นตอนของการแยกถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลาย



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของดินขาว

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของดินขาว (รูปที่ 4.2) แสดงโครงสร้างของผงดินขาว ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้น ๆ ของแผ่นบาง ๆ ของดินขาว ทำให้ไม่มีรูพรุนระหว่างชั้นดินและเกิดการดูดซับได้น้อย



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ (ก)เกล็ดดิน (ข)ถ่านเกล็ด (ค)ถ่านเกล็ดเผา



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแผ่นกลบ ขยายให้เห็นชั้นบางๆ ที่ปิดรูพรุน

เมื่อศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแผ่นกลบ แผ่นกลบและแผ่นกลบเผา (รูปที่ 4.3) จะเห็นความแตกต่างของวัสดุทั้งสามอย่างชัดเจน กล่าวคือ แผ่นกลบจะเรียงสลับเข้าเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีรูพรุน แผ่นกลบจากโรงสีเกิดจากการเผาไหม้ของเปลือกข้าวที่อุณหภูมิต่ำ สารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้และสลายตัวทำให้เกิด โครงสร้างที่มีรูพรุน แต่รูพรุนเหล่านั้นยังมีขนาดเล็ก ไม่สม่ำเสมอและมีสารบางส่วนที่ปิดรูพรุนอยู่ ทำให้เกิดการดูดซับ ไล่ต่ำ การเผากระจุยแผ่นกลบที่อุณหภูมิ 1000 °C ทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์เพิ่มเติม ทำให้แผ่นกลบเรามีโครงสร้างเป็นรูพรุนมากขึ้น และเยื่อต่างๆที่ปกคลุมจะสลายไป ทำให้รูพรุนเป็นรูพรุนชนิดเปิดที่มีพื้นที่ผิวสูง

รูปที่ 4.4 เป็นรูปขยายของแผ่นกลบจากโรงสี แสดงให้เห็นถึงชั้นบาง ๆ ของสารอินทรีย์ที่ยังสลายตัวไม่หมดและปกคลุมรูพรุนของแผ่นกลบ

4.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโลหะโครเมียม ตะกั่ว และเงิน

4.2.1. การทดลองที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ

(ก) ผลของพีเอชต่อการตกตะกอนของโลหะไอออน

จากการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการตกตะกอนของโลหะโครเมียม และตะกั่ว สารละลายโพแทสเซียมโครเมียม และตะกั่วเตรียมในสารละลายที่เป็นกรดทั้งนี้เพราะเมื่อเป็นไปอย่างนี้รูพรุนชั้นนอกจะขี้ดจะได้ไม่เกิดปัญหาเรื่องการตกตะกอน และโลหะแต่ละชนิดอยู่ในรูปของโลหะไอออน ได้แก่ โครเมียมอยู่ในรูป Cr^{3+} สีเขียว ตะกั่วอยู่ในรูป Pb^{2+} ไม่มีสี และเงินอยู่ในรูป Ag^+ ไม่มีสีและการทดลองต้องควบคุมให้สารละลายอยู่ในช่วงเป็นกรดคือมีพีเอช 3-5

(2) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหมาะสมกับน้ำหนักของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิด และใช้วัสดุดูดซับน้ำหนักงที่คือหนัก 0.0500 กรัม พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ใช้จะต่างกัน แสดงว่าความสามารถในการดูดซับของวัสดุต่อโลหะแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับคู่ของการดูดซับ ผลสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่เหมาะสม (c) กับวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

วัสดุดูดซับ	โลหะ	c (ppm)
ถ่านกัมมันต์	Cr	150
	Pb	400
	Ag	100
ดินขาว	Cr	150
	Pb	200
	Ag	50
ถ่านแกลบ	Cr	150
	Pb	200
	Ag	50
ถ่านแกลบเผา	Cr	150
	Pb	250
	Ag	50

(3) ผลของเวลาต่อการดูดซับ

ได้ทำการศึกษาเวลาที่โลหะหนักถูกดูดซับ จนถึงสมดุลหรืออิ่มตัว ทำโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาของการดูดซับอยู่ในช่วง 0 - 240 0 - 30 0 - 60 และ 0 - 60 นาทีสำหรับวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านแกลบ และถ่านแกลบเผา ตามลำดับ พบว่าเวลาไม่มีผลต่อการดูดซับกล่าวคือเมื่อแช่โลหะหนักในวัสดุแต่ละชนิดก็จะถึงสมดุลทันที ดังนั้นจึงเลือกเวลาสำหรับการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด

วัสดุดูดซับ	t(นาที)		
	Cr	Pb	Ag
ถ่านกัมมันต์	60	240	60
ดินขาว	30	20	30
ถ่านแกลบ	30	60	30
ถ่านแกลบเผา	30	60	30

(4) ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ

ได้ทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 50 °C พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับในวัสดุทุกชนิดเพราะปริมาณการดูดซับคงที่ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 30 °C เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก เพื่อหาภาวะการทดลองที่เหมาะสม เพื่อสร้างไอโซเทอร์ม ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงภาวะการทดลองที่เหมาะสมของโลหะหนักในวัสดุดูดซับต่าง ๆ

วัสดุดูดซับ	น้ำหนัก (g)			t(นาที)			T (°C)			พีเอช หลังแช่		
	Cr	Pb	Ag	Cr	Pb	Ag	Cr	Pb	Ag	Cr	Pb	Ag
ถ่านกัมมันต์	0.0500	0.0500	0.0500	60	240	60	30	30	30	5.90	5.20	5.24
ดินขาว	0.0500	0.0500	0.0500	30	20	30	30	30	30	4.20	5.20	4.90
ถ่านแกลบ	0.0500	0.0500	0.0500	30	60	30	30	30	30	4.46	4.24	4.15
ถ่านแกลบเผา	0.0500	0.0500	0.0500	30	60	30	30	30	30	5.30	4.96	4.54

4.2.2. การศึกษาไอโซเทอร์ม

เมื่อได้ภาวะการดูดซับที่เหมาะสมของโลหะหนักในวัสดุดูดซับแต่ละชนิด ดังในตารางที่ 4.4 แล้วนำมาศึกษาการดูดซับที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อสร้างไอโซเทอร์ม เมื่อพิจารณาไอโซเทอร์ม

ของอิลอน Cr^{3+} Pb^{2+} และ Ag^+ ในวัสดุดูดซับถ่านกัมมันต์ ดินขาว ถ่านเกลบและถ่านเกลบเผา ดังแสดงในรูป 3.10 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(I) ไอโซเทอร์มของ Cr^{3+} และ Pb^{2+} บนวัสดุดูดซับทั้งสี่ชนิดมีลักษณะว่าที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ไอโซเทอร์มของ Ag^+ มีลักษณะนูนขึ้นแบบไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ ไอโซเทอร์มที่มีลักษณะเว้าลงที่จุดเริ่มต้นของการดูดซับ แสดงว่าพื้นผิววัสดุดูดซับไม่มีแนวโน้มที่จะดึงดูดกับสารถูกดูดซับนั้น ในขณะที่ไอโซเทอร์มที่มีลักษณะนูนขึ้นที่จุดเริ่มต้นของการดูดซับ แสดงถึงแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและตัวถูกดูดซับ ดังนั้น Ag^+ จึงเป็นอิลอนชนิดเดียวในการทดลองนี้ที่มีแนวโน้มที่จะดูดซับบนพื้นผิววัสดุดูดซับทั้งสี่ชนิดได้

(II) ปริมาณของสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับโดยวัสดุทั้งสี่ชนิดมีค่าประมาณ 1 – 10 มิลลิกรัมของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งกรัมของตัวดูดซับ เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของกลุ่มตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จะเห็นว่าวัสดุดูดซับที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นวัสดุที่ตำแหน่งดูดซับไม่มีประจุได้แก่ ถ่านกัมมันต์ และเป็นวัสดุดูดซับที่ตำแหน่งดูดซับมีประจุเป็นบวกได้แก่ ดินขาว และถ่านเกลบ ลักษณะของพื้นผิวที่มีประจุตรงกันกับประจุของสารถูกดูดซับไม่เอื้อต่อการดูดซับเนื่องจากการผลักกันของประจุ แสดงว่าวัสดุดูดซับทั้งสี่ชนิดสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ดีกว่าโลหะไอออน แต่จากรูปร่างของไอโซเทอร์มที่ได้จะเห็นว่าปริมาณโลหะไอออนจะค่อย ๆ ถูกดูดซับทีละน้อยซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโลหะไอออนในสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณน้อยมากในหน่วย พีพีเอ็ม (ppm) และจะถูกดูดซับได้มากขึ้นจนกระทั่งหรือการดูดซับอิ่มตัวแสดงว่าถ่านนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีโลหะไอออนดังกล่าวปนอยู่จะต้องมีการเปลี่ยนวัสดุบ่อย ๆ

(III) ไอโซเทอร์มของการดูดซับของอิลอนทั้งสามชนิดบนวัสดุดูดซับถ่านเกลบและถ่านเกลบเผาเหมือนกันทุกประการ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านเกลบโดยการเผาอบที่อุณหภูมิ 1000°C ไม่มีผลทำให้การดูดซับของแคทไอออน Cr^{3+} Pb^{2+} และ Ag^+ เพิ่มขึ้น ดังนั้นการดูดซับของแคทไอออนทั้งสามลงบนวัสดุดูดซับไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแต่จะขึ้นกับชนิดของประจุที่ตำแหน่งดูดซับ และการดูดซับของอิลอนทั้งสามจะเกิดขึ้นได้หากการดูดซับนั้นเป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนอิลอน (ion exchange adsorption) ซึ่งวัสดุดูดซับจะต้องมีประจุที่เหมาะสมที่ตำแหน่งดูดซับ เช่น การดูดซับแคทไอออนจะต้องใช้วัสดุดูดซับที่มีประจุลบที่ตำแหน่งดูดซับ และการดูดซับแอนไอออนจะต้องใช้วัสดุที่มีประจุบวกที่ตำแหน่งดูดซับ

ดังนั้นวัสดุดูดซับที่ได้ศึกษาในการทดลองนี้อาจเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับแอนไอออน โดยปกติวัสดุดูดซับที่มีโดยทั่วไปมักเป็นวัสดุดูดซับที่ไม่มีประจุเช่น ถ่านกัมมันต์ หรือมีประจุบวกที่ตำแหน่งดูดซับเช่น ซิลิกาเจล ซีโอไลต์ เป็นต้น วัสดุดูดซับที่มีประจุลบที่ตำแหน่งดูดซับส่วนใหญ่เกิดจากการนำกลุ่มฟังก์ชันที่มีประจุลบเช่น $-\text{CN}$ มาดูดซับลงบนพื้นผิวของสารดูดซับที่ไม่มีประจุ

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

(I) ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับมาตรฐานที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวสูง สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้อย่างดี แต่ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่ไม่มีประจุและดูดซับไอออนของโลหะหนักได้น้อย

(II) ดินขาวเป็นวัสดุดูดซับที่มีรูพรุนน้อย มีพื้นที่ผิวต่ำ มีหมู่ฟังก์ชันที่ผิวหน้า เกิดการดูดซับทางเคมีกับเมทธิลีนบลู แต่ไม่ดูดซับโลหะหนัก

(III) ถ่านแกลบและถ่านแกลบเผาเป็นวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติและมีมากในประเทศไทย มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวสูง ขนาดของรูพรุนขึ้นกับอุณหภูมิของการเผาถ่าน ถ่านแกลบมีความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลูซึ่งเป็นสารอินทรีย์ และสามารถดูดซับได้มากขึ้นเมื่อได้รับการเผากระตุ้นที่ 1000°C ถ่านแกลบสามารถดูดซับไอออนโลหะหนักได้น้อย ถ่านแกลบอาจเป็นวัสดุดูดซับที่ไม่มีประจุหรือมีประจุเป็นบวก ซึ่งควรต้องทำการทดลองเพิ่มเติมว่าถ่านแกลบเป็นวัสดุดูดซับประเภทใด

4.4 ข้อเสนอแนะ

พฤติกรรมของการดูดซับของสารดูดซับเป็นสิ่งที่น่าสนใจและน่าศึกษา เนื่องจากการดูดซับมีความสำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ เช่น การเร่งปฏิกิริยา การควบคุมสิ่งแวดล้อม ฯลฯ

ดังนั้นจึงน่าที่จะมีการศึกษาเพื่อเสาะหาวัสดุดูดซับที่หาง่าย และมีประสิทธิภาพสูง จากการวิจัยขั้นพื้นฐานของการทดลองนี้ พบว่าถ่านแกลบเป็นวัสดุดูดซับที่มีศักยภาพสูง น่าที่จะได้มีการนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับ แนวทางการศึกษาและพัฒนาถ่านแกลบให้เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงมีดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของถ่านและถ่านแกลบ
2. ศึกษาแนวทางการเผาถ่านโดยควบคุมให้ได้วัสดุดูดซับที่มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสูงและสามารถดูดซับสารที่ต้องการได้
3. ศึกษาชนิดของถ่านแกลบว่าเป็นวัสดุดูดซับชนิดใด มีความสามารถในการดูดซับสารใดได้
4. ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการดูดซับเช่น การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ลงบนพื้นผิวของถ่านแกลบ เพื่อให้ถ่านแกลบสามารถดูดซับสารเคมีได้หลากหลายชนิดทั้งสารที่ไม่มีประจุ สารที่มีประจุบวกและสารที่มีประจุลบ
5. เนื่องจากถ่านแกลบมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ดังนั้นถ่านแกลบน่าที่จะเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการพัฒนาสารดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงได้ เช่น ซิลิกาเจล หรือ ซีโอไลท์เป็นต้น
6. ศึกษาการดูดซับของโลหะไอออนที่มีพิษในน้ำกับวัสดุดูดซับโดยศึกษาการดูดซับที่เหมาะสมและวิธีการดูดซับแบบ Batch และ Continuous flow เป็นต้น